



鋼の溶接現象によぼす電極線材質の影響

著者	武田 俊一
号	686
発行年	1978
URL	http://hdl.handle.net/10097/9422

氏 名	武 田 俊 一
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭和 53 年 11 月 1 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 金属加工学専攻
学 位 論 文 題 目	鋼の溶接現象におよぼす電極線材質の影響
指 導 教 官	東北大学教授 小林 卓郎
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 小林 卓郎 東北大学教授 金子 秀夫 東北大学教授 大平 五郎

論 文 内 容 要 旨

1. 緒 言

鋼溶接金属の諸性質におよぼす合金元素の影響に関しては多くの研究が行なわれているが、溶接アーク現象におよぼす電極線あるいは電極線中の合金元素の影響に関する研究は極めて少ないのが現状である。また、鉄鋼・非鉄金属の溶接アーク現象に関する報告としては、アーク電圧・溶接電流・溶接雰囲気および雰囲気圧などの溶接条件の影響に関するものが多い。

一般に、電極材料は陰極降下や陽極降下には直接的に、アーク柱の電位傾度には間接的に影響を与えることが知られており、鋼の溶接現象に著しい影響をおよぼすと考えられるにもかかわらず、電極線中の合金元素の影響に関する報告はほとんど認められない。

そこで、本研究は、電極線中の各種合金元素が鋼の溶接現象にいかなる影響をおよぼすのかを明らかにする目的で、Fe-M (M: 合金元素) 二元系電極線を系統的に多数作成し、これらを用いて系統的な実験を行なったもので、合金元素としては、一般的なC・Si・Mn・Alのほか、特殊元素としてTi・Zr・HfさらにLa・Ceの希土類元素を対象とした。また、鋼中に含有される酸素の影響についても検討を行なった。

溶接条件としては、比較的低電流・低電圧域の短絡およびDrop移行範囲を対象とし、ArおよびCO₂各1気圧雰囲気中でアーク溶接した時の溶接現象におよぼすこれら合金元素の影響を調べた。

本論文はこれらの研究結果をまとめたものであり、以下にその概略を述べる。

2. 実験装置および実験方法

電極線（1.6 mm ϕ ）としては、目的成分以外はなるべく微量となるよう留意し、各種合金元素を最大4%程度まで順次増加させたものを、各元素系について3～7種類作成した。母材は市販の軟鋼板（SS 41, 12 mm t）を用いた。

溶接はすべて溶接雰囲気調整装置内で消耗電極型直流溶接機を用いて行なった。電極線および母材を所定位置にセットして装置内を排気後、ArあるいはCO₂を装入して1 atmとし、直流逆極性（電極線：正極，母材：負極）で溶接を行なった。そして、溶接中の諸現象をシンクロスコープおよび高速度カメラを用いて記録し調べた。

短絡発生回数の測定に際しては、短絡継続時間が1 msec以下のいわゆる瞬間的短絡は溶滴の移行にはほとんど関与しないと考えられるので、短絡発生回数から除外した。高速度写真より測定したアーク長としては、短絡が切れた瞬間（アークの再点弧）から次の短絡の開始（アークの消滅）までの中間時の、母材表面から電極線先端部のアーク発生点までの距離で示した。

3. 実験結果および考察

3-1 Ar 雰囲気 1 atmのもとで溶接を行なった場合の鋼の溶接現象におよぼす電極線中の合金元素の影響

短絡発生回数におよぼす各種合金元素の影響をまとめてFig. 1に示す。いずれの電圧でも、La・Ceなどの希土類元素および酸素は微量でも急激に短絡発生回数を減少させ、Zr・Ti・Hfなどの特殊元素の影響も比較的大きいが、Alはほとんど影響していない。また、Cは20および25 Vでは短絡発生回数を増加させ、Si・Mnは20 Vでやや複雑な変化を与える。また、いずれの元素においても、アーク電圧の増加とともに短絡発生回数が減少する傾向は顕著に認められ、30 Vではほとんど短絡しなくなる。

Fig. 2に、アーク長におよぼす各種合金元素の影響をまとめて示す。いずれの元素でも、アーク長変化は短絡発生回数の変化と丁度逆の傾向を示していることがわかる。

Fig. 3に、短絡発生回数とアーク長との関係を示す。いずれの元素においても、斜線で示した範囲内でデータにバラツキが認められる程度で約5 mmのアーク長までは、アーク長の増加とともに短絡発生回数はほぼ直線的に減少し、アーク長がそれ以上になるとほとんど短絡せず、溶滴の移行は短絡移行からDrop移行に変化することがわかる。

これらの結果より、短絡発生回数とアーク長との間にはいずれの元素においても明白な相関関係が認められ、短絡発生回数におよぼす合金元素の影響はアーク長変化で説明できるように思われる。

3-2 CO₂ 雰囲気 1 atmのもとで溶接を行なった場合の鋼の溶接現象におよぼす電極線中の合金元素の影響

鋼の溶接現象におよぼす各種合金元素の影響をまとめてFig. 4～6に示す。

これらの結果より、鋼の溶接現象におよぼす各種合金元素の影響は、その影響の程度が合金元

素により若干異なるが、Ar 雰囲気の場合と同様に、主としてアーク長変化で説明でき、合金元素はこのアーク長変化に影響すると考えられる。

3-3 アーク長一定条件のもとで溶接を行なった場合の鋼の溶接現象におよぼす電極線中の合金元素の影響

3-1・3-2の結果より、鋼の溶接現象におよぼす電極線中の各種合金元素の影響は、合金元素含有によるアーク長変化に由来することが大きいとの結論に達したので、さらにそれを確かめるために、Ar・CO₂ 両雰囲気中でアーク長を 4.0 mm と一定にした場合の鋼の溶接現象におよぼす各種合金元素の影響を調べた。

その結果を Fig. 7 に示す。

これらの結果より、アーク長一定条件では、短絡発生回数は、いずれの雰囲気でも添加元素量にかかわらずほぼ一定となり、各種合金元素の影響はアーク長変化によることを確認することができた。

3-4 鋼の溶接現象におよぼす合金元素の影響に関して

以上の結果より、鋼の溶接現象におよぼす合金元素の影響は、主としてアーク長変化によるものであることを実験的に確認することができた。

これは、電極物質が溶融・蒸発してアーク柱に混入し、アークの導電すなわちアーク柱の電位傾度に著しい影響をおよぼし、アーク長変化を生じるためと考えられる。

Fig. 8 及び Table 1・2 に、アーク柱の電位傾度におよぼす各種合金元素の影響を、電極線中の添加元素のモル分率との関係で示した。

以上の結果を総合して考えると、本実験で用いたような低電流・低電圧域溶接条件下における溶滴の移行は、アーク長と重力および表面張力との関係から Fig. 9 に示すような順序で進行していると考えられる。すなわち、

〔Ⅰ〕 アーク長が短い場合は、溶滴の大きさが重力として表面張力よりも大きくなる前に、溶滴が溶融池に接触（短絡発生）し、溶接金属との表面張力あるいはピンチ力によって短絡が切れる（アークの再点弧）。〔短絡移行〕

〔Ⅱ〕 アーク長が長い場合は、表面張力より重力が大きくなる程度まで溶滴が成長し、両者のバランスが崩れた時（重力＞表面張力）に溶滴の移行が起る。〔Drop 移行〕

4. 結 論

鋼の溶接現象におよぼす各種合金元素の影響を調べた結果、次のような結論を得た。

(1) アーク電圧の増加とともに、いずれの雰囲気でもアーク長が増加して短絡発生回数が減少する。そして、この時のアーク長と短絡発生回数との間には明白な相関関係が認められる。

(2) 鋼の溶接現象におよぼす合金元素の影響としては、いずれの雰囲気でも、La・Ce などの希土類元素および酸素の影響が特に顕著に認められる。

(3) いずれの雰囲気でも、各種合金元素量の増加に伴う短絡発生回数の変化とアーク長変化との間には、明白な相関関係が認められる。

(4) 短絡発生回数によぼす電極線中の各種合金元素の影響は、いずれの雰囲気でもアーク長変化によって説明でき、アーク長一定条件下では、いずれの元素を添加した場合も短絡発生回数は一定となる。

(5) いずれの雰囲気でも、鋼の溶接現象によぼす電極線中の合金元素の影響は、合金元素含有によりアーク柱の電位傾度が変化してアーク長変化を生じることによるものと推定された。

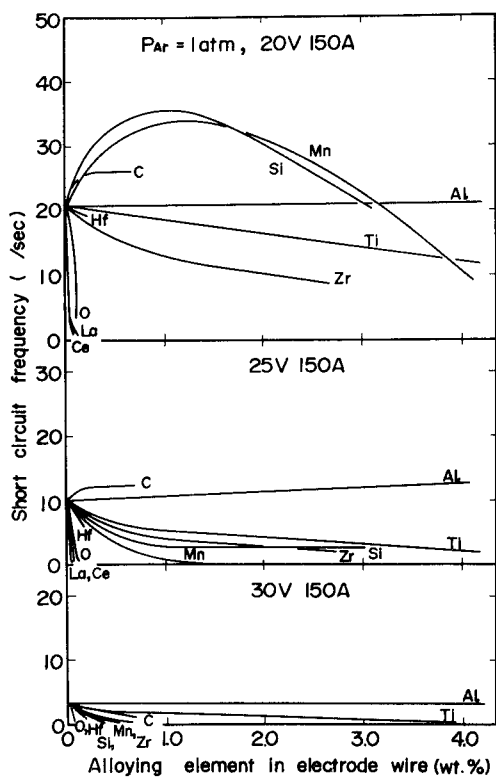


Fig. 1 短絡発生回数によぼす電極線中の合金元素の影響
($P_{Ar} = 1 \text{ atm}$, 溶接電流一定)

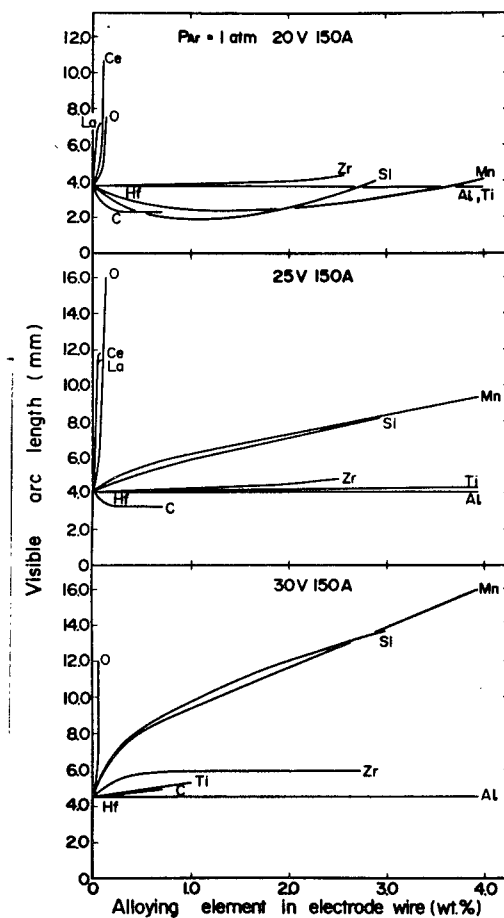


Fig. 2 アーク長によぼす電極線中の合金元素の影響
($P_{Ar} = 1 \text{ atm}$, 溶接電流一定)

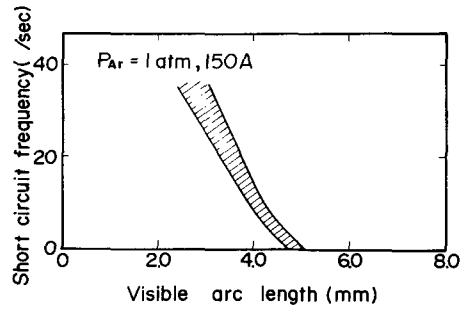


Fig. 3 短絡発生回数とアーク長との関係
($P_{Ar} = 1 \text{ atm}$, 溶接電流一定)

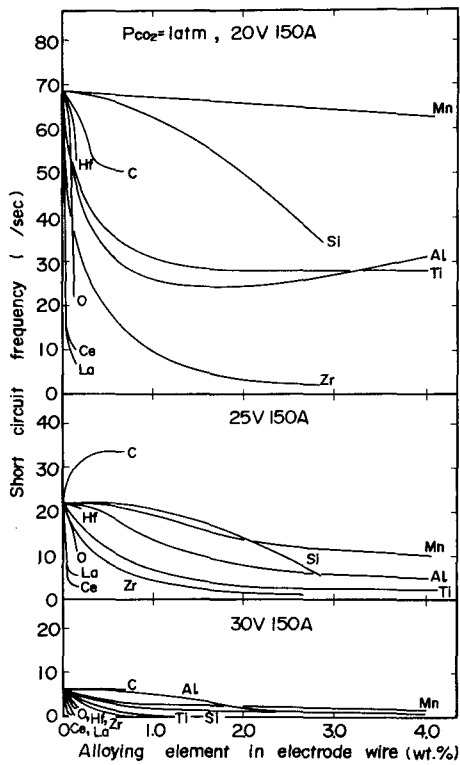


Fig. 4 短絡発生回数によぼす電極線中の合金元素の影響
($P_{CO_2} = 1 \text{ atm}$, 溶接電流一定)

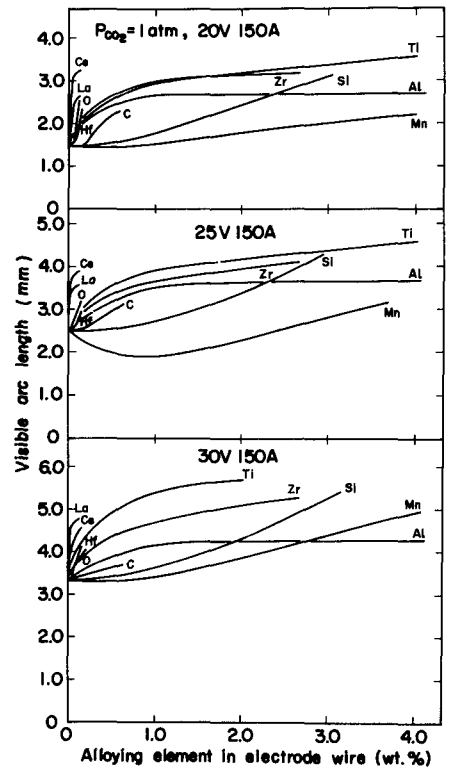


Fig. 5 アーク長によぼす電極線中の合金元素の影響
($P_{CO_2} = 1 \text{ atm}$, 溶接電流一定)

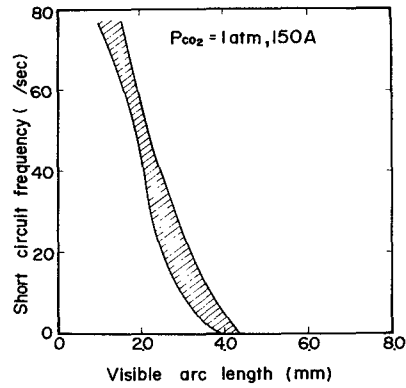


Fig. 6 短絡発生回数とアーク長との関係
($P_{CO_2} = 1 \text{ atm}$, 溶接電流一定)

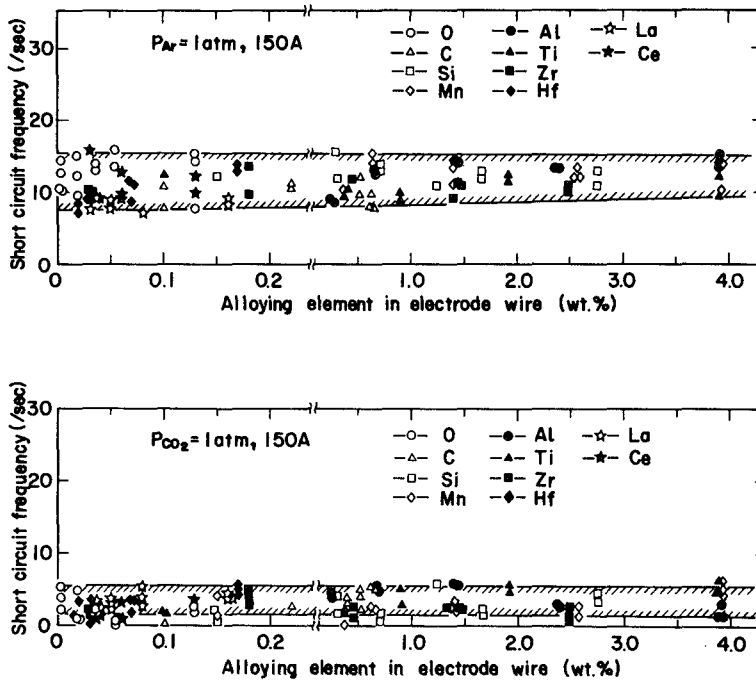


Fig. 7 短絡発生回数におよぼす電極線中の合金元素の影響
(溶接電流一定, アーク長一定)

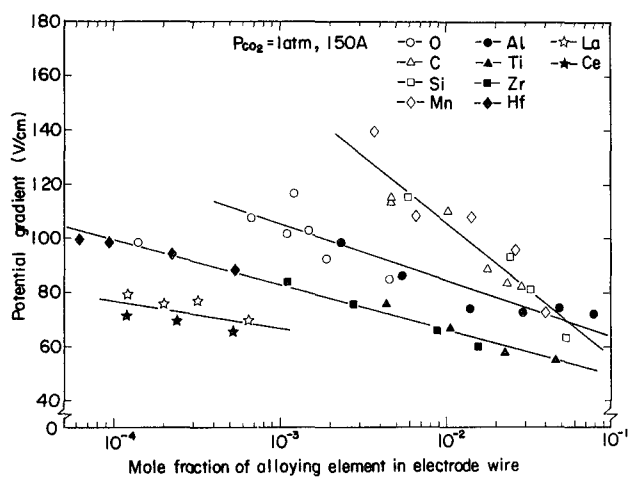
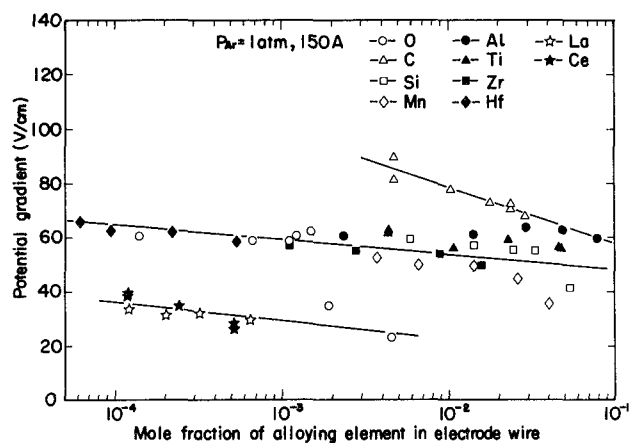


Fig. 8 アーク柱の電位傾度におよぼす電極線中の合金元素の影響
(溶接電流一定)

Table 1 アーク柱の電位傾度におよぼす電極線中の合金元素の影響
($P_{Ar} = 1 \text{ atm}$, 溶接電流一定)

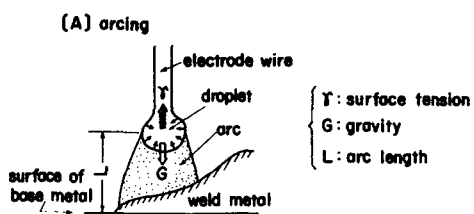
group	alloying element	experimental equation
(1)	C	$P = -20.9 \log x + 36.6$
(2)	Si, Mn, Al, Ti, Zr, Hf 0 ($\leq 420 \text{ ppm}$)	$P = -5.6 \log x + 42.4$
(3)	La, Ce, O ($> 420 \text{ ppm}$)	$P = -6.9 \log x + 8.4$

P: potential gradient (V/cm)
x: mole fraction

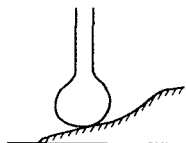
Table 2 アーク柱の電位傾度におよぼす電極線中の合金元素の影響
($P_{CO_2} = 1 \text{ atm}$, 溶接電流一定)

group	alloying element	experimental equation
(1)	C, Si, Mn	$P = -49.1 \log x + 7.5$
(2)	Al, O	$P = -20.8 \log x + 42.7$
(3)	Ti, Zr, Hf	$P = -16.6 \log x + 33.0$
(4)	La, Ce	$P = -9.8 \log x + 37.2$

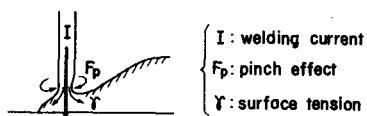
P: potential gradient (V/cm)
x: mole fraction



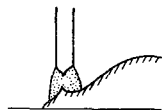
(B) short circuit



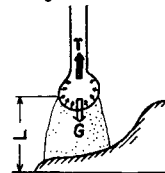
(C) necking



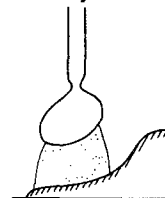
(D) arc reignition



(A) arcing



(B) immediately before detachment



(C) droplet detachment

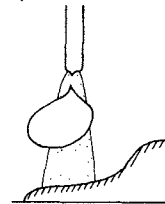


Fig. 9 二種類の溶滴移行形態 (模式図)

(左図) 短絡移行 (アーク長が短い場合)

(右図) Drop 移行 (アーク長が長い場合)

審 査 結 果 の 要 旨

最近、鋼の消耗電極ガス被包アーク溶接は広範囲に適用され、その溶接現象についても多くの研究が行われている。しかし、その多くは溶接雰囲気ガス、アーク電圧、溶接電流などの影響に関するもので、電極線材質の影響についての研究はほとんどみられない。著者はこの点に着目し、各種元素を低合金範囲で含有する Fe-M (M: 合金元素) 二元系電極鋼線多数を調製し、これらを用いて、Ar および CO₂ 雰囲気中で溶接を行い、溶接現象におよぼす電極線中合金元素の影響を系統的にしらべた。本論文はその結果をまとめたもので全編 7 章からなる。

第 1 章は緒言で、本研究の背景および意義を述べている。

第 2 章では、比較的低電圧、低電流域で短絡およびドロップ移行範囲での電圧、電流波形による短絡発生回数の測定方法および高速写真による溶滴成長、移行状況あるいはアーク長測定方法など本研究で用いた実験方法について述べている。

第 3 章では、Ar 1 気圧の雰囲気中で溶接した場合の溶接現象におよぼす電極鋼線中合金元素の影響について数多くの結果を示している。アーク長、短絡発生回数、溶滴の大きさの間に明瞭な相関関係があること、La, Ce などの希土類元素および酸素は微量でも急激に短絡発生回数を減少させることなど興味ある新知見を示し、短絡発生回数、溶滴の大きさにおよぼす合金元素の影響はそれら合金元素によるアーク長の変化でよく説明できるとしている。

第 4 章は CO₂ 1 気圧の雰囲気中で溶接した場合の結果を述べたもので、Ar 雰囲気の場合と値は異なるが、合金元素の影響としてはほぼ同様な傾向があることを示している。

第 5 章では、アーク長一定条件で溶接を行い溶接現象をしらべた結果を示している。アーク長一定条件下では、Ar, CO₂ 各雰囲気の場合、合金元素の種類、量に拘らず短絡発生回数、溶滴の大きさともほぼ一定となることを示し、鋼の溶接現象におよぼす電極線中の各種合金元素の影響が、それら合金元素含有によるアーク長変化に由来することが大きいことを確認している。

第 6 章は鋼の溶接現象におよぼす電極線中合金元素の影響について種々の考察を行ったもので、比較的微量の合金元素でもアーク柱の電位傾度を容易に変化せしめ得ることを述べ、本研究結果の妥当性を主張している。

第 7 章は本研究の総括である。

以上要するに、本研究は鋼のガス被包アーク溶接現象におよぼす電極線中の合金元素の影響について系統的な実験を行い、興味ある新知見と溶接条件設定に際し考慮すべき貴重な指針を提供したもので、金属工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。